"जल संसाधन के क्षेत्र में भावी चुनौतियाँ"
विषय पर राष्ट्रीय संगोष्ठी
16-17 दिसम्बर, 2003, रुड़की (उत्तरांचल)

हिमालीय नदियों में रेडियो रेखांकन तकनीक से संसर्ग दूरी के आंकलन हेतु गणितीय प्रतिरूप

डी सी शर्मा ओ पी दुबे एस एस छाबड़ा
सिंचाई अनुसंधान संस्थान, रुड़की

सारांश

भारत की अधिकतर बहुउद्देशीय सिंचाई एवं विद्युत परियोजनायें हिमालय में स्थित हैं। इन परियोजनाओं के टिकाऊ विकास और मित्तव्ययी सृजन एवं रखरखाव के लिये हिमालय की नदियों के जल प्रवाह का स्थल एवं समय की विमा में विश्वसनीय आंकलन अत्यावश्यक है। हिमालय की नदियों का जल प्रवाह सामान्य प्रचलित विधियों से मापन क्लिश्ट है और अधिक समय और कर्मियों की आवश्यकता होती है तथा प्राप्त आंकड़े विश्वसनीय भी नहीं होते हैं।

देश एवं विदेशों में संसर्ग दूरी के आंकने हेतु अधिकतर प्रचलित सैद्धान्तिक एवं सांख्यकीय सूत्रों का उपयोग किया गया है। सामान्यतः ये सूत्र प्रयोगशाला में किये गये प्रयोगों पर आधारित हैं। इन सूत्रों में प्रयुक्त जल विज्ञानीय नियामकों को दुर्गम नदी घाटियों में मापना कठिन एवं खर्चीला होता है। दुर्गम स्थलों पर आवश्यक भारी उपकरणों को ले जाना भी बहुत कठिन कार्य है। संस्थान द्वारा किये अध्ययन दर्शाते हैं कि प्रचलित सूत्रों से हिमालयी नदियों की संसर्ग दूरी की भविष्यवाणी करना तर्कसंगत नहीं है।

सिंचाई अनुसन्धान संस्थान, रुड़की के रेडियोधर्मी वर्ग ने विभिन्न हिमालय उत्तरांचल राज्य की नदियों जैसे गंगा, यमुना, टोन्स, सोंग, अलकनन्दा, भागीरथी तथा हिमाचल प्रदेश में बासपा, व्यास, पार्वती, गिरी, एलियन, ढुंग्गन, सरवरी, मलाना, बुद्विल, नियोगल, खोली, होली एवं जम्मू-कश्मीर में स्थित चैनाब पर रेडियोधर्मी रेखांकक विधि एवं स्थल प्रयोगों द्वारा संसर्ग दूरी का आंकलन किया गया है। तदोपरान्त संसर्ग दूरी आंकलन हेतु जल विज्ञानीय नियामकों जैसे नदी के छिन्नक में ऊपरी जल सतह की चौड़ाई (बी), जल की गहराई (डी), ढलान (एस), विक्षोभ प्रवाह (आरई), जल की गति एवं जल प्रवाह (क्यू) से एकल एवं समन्वित रूप में सम्बन्ध हेतु गणितीय प्रतिरूपों का सृजन किया गया है।

1. पृष्ठभूमि :

हिमालय में उपलब्ध प्राकृतिक जल संसाधनों के समुचित नियोजन, खनन एवं समन्वित उपयोग के लिए नदियों के जल प्रवाह का पूर्व अनुमान होना अति महत्वपूर्ण है। नदियों का जल प्रवाह, स्थल और समय दोनों ही विमाओं में बदलता रहता है। नदियों का जल प्रवाह प्रायः प्रचलित विधियों द्वारा मापा जाता है। स्थल अनुभव दर्शाते हैं कि प्रचलित विधियों का उपयोग दुर्गम नदी घाटियों में बहुत कठिन

कार्य है। साथ ही साथ कई परिस्थितियों में विश्वसनीय आंकड़े प्राप्त नहीं होते हैं। यहां यह भी कहना सामयिक है कि हिमालीय नदियों में बाढ़ की स्थिति में जब सामान्यतः प्रचलित विधियों का प्रयोग क्लिश्ट होता है और साथ ही ऑकड़े विश्वसनीय प्राप्त नही होते हैं इन दुर्गम नदी घाटियों में रेडियोधर्मी रेखांकक तकनीक का उपयोग जल प्रवाह मापन के लिए बहुत सहजता से किया जा सकता है।

हिमालीय नदियों के भौगोलिक एवं जल विज्ञानीय परिस्थिति विशेष के कारण जल प्रवाह मापन के लिए मुख्यतया रेडियोधर्मी रेखांकक का उपयोग सुगमता से किया जा सकता है। यह तकनीक रेखांकक के नदी जल में संतृप्त मिश्रण पर आधारित है। नदीं के दोनों किनारों पर रेखांकक सान्द्रता का अन्तर 2 प्रतिशत से कम रहने पर साधारणतया यह मान लिया जाता है कि नदी जल में रेखांकक का संतृप्त मिश्रण हो गया है। रेखांकक को नदी में मिश्रित करने के स्थल से पूर्ण संतृप्त मिश्रण स्थल तक की दूरी को संसर्ग दूरी कहा जाता है। सामान्यतः, देश एवं विदेशों में संसर्ग दूरी को आंकने हेतु अधिकतर प्रचलित सैद्धान्तिक एवं सांख्यिक सूत्रों का प्रयोग किया जाता रहा है। सामान्यतः ये सूत्र प्रयोगशाला में किये गये प्रयोगों पर आधारित हैं। इनमें से कुछ सांख्यिकी सूत्र तालिका–1 में दर्शाये गये है।

स्थल अनुभव दर्शाते हैं कि उपरोक्त सूत्रों का प्रयोग हिमालय की नदियों के लिये संसर्ग दूरी के विश्वसनीय परिणाम नही देते हैं। अतः हिमालय की नदियों के लिये संसर्ग दूरी ज्ञात करने के लिए सामान्यतः नदी के दोनों किनारों से जल के नमूने एकत्रित कर संसर्ग दूरी आंकलित की जाती है। इन जल के नमूनों को एकत्रित करने के लिए अधिक प्रशिक्षित कर्मी एवं अधिक धन की भी आवश्यकता होती है। ऐसी परिस्थिति में विज्ञानीय नियामकों के आधार पर संसर्ग दूरी का आंकलन सम्पूर्ण जल मापन प्रक्रिया को मितव्ययी बनाने में सहायक होगा।

उपरोक्त सभी बिन्दुओं को ध्यान में रखते हुए विगत वर्षों में सिंचाई अनुसन्धान संस्थान, रुड़की

तालिका 1 : संसर्ग दूरी आंकलन हेतु प्रचलित सैद्धान्तिक सूत्र

क्रम सं0	अन्वेषक	सूत्र	विवरण
1.	श्रीमर सूत्र (1960)	एल = 0.12 बी^{2}सी (0.7सी+6)/जीडी	एल = संसर्ग दूरी, क्यू = अनुमानित जल प्रवाह, आर = जल विज्ञानीय त्रिज्या, एन = मेंनिग गुणांक, $ए_1$ = 50 मध्य एवं 200 किनारे पर इन्जेक्शन गुणांक, $ए_2$ = 27 छोटी नदियों पर मध्य इन्जेक्शन गुणांक, $ए_3$ = 0.3 से 0.8, बी = औसत ऊपरी जल सतह की चौड़ाई, डी = औसत जल की गहराई, एस = जल सतह का ढलान, सी = चेजी गुणांक
2.	थूल सूत्र (1962)	एल = ए, क्यू$^{1/3}$	
3.	एण्ड्रूज सूत्र (1966)	एल = $ए_2$ बी क्यू$^{1/3}$	
4.	यटूसुकुरा सूत्र (1974)	एल = 0.032(आर$^{1/6}$बी^{2})/$ए_3$ एनडी	

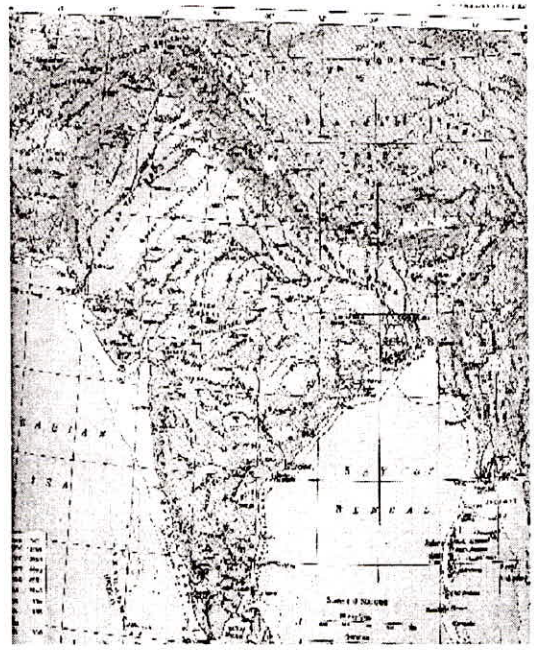
के रेडियोधर्मी शोध वर्ग ने उत्तरांचल, हिमाचल एवं जम्मू–कश्मीर राज्य की विभिन्न हिमालय की नदियों में रेडियोधर्मी तकनीक का स्थल पर प्रयोग करके संसर्ग दूरी एवं जल प्रवाह का आंकलन किया है। इस अध्ययन में संसर्ग दूरी आंकलन हेतु जल विज्ञानीय नियामकों का एकल एवं समन्वित रूप में प्रयोग करके गणितीय प्रतिरूप का सृजन किया गया है ।

2. अध्ययन क्षेत्र एवं प्रयोगात्मक विधि :

गणितीय प्रतिरूप को सृजित करने हेतु विभिन्न जल विज्ञानीय नियामकों के आंकलन हेतु हिमालय की नदियों में रेडियोधर्मी रेखांकक तकनीक द्वारा कुछ चुने हुए स्थलों पर प्रयोग किये गये। उत्तरांचल स्थित नदियां–गंगा, यमुना, टोन्स, सौन्ग, अलकनन्दा तथा भागीरथी; हिमाचल प्रदेश में स्थित–होली, ब्यास, रावी, बासपा, पार्वती, गिरी तथा ब्यास एवं रावी की सहायक नदियां, जम्मू–कश्मीर राज्य में स्थित–चैनाव नदी पर स्थल प्रयोग किये गये। इन नदियों पर किये गये स्थल परीक्षण चित्र 1 में दर्शाये गये हैं।

नदी विशेष पर परीक्षण स्थल के चुनाव करते समय नदियों में जल के बहाव, विक्षोभ, खुरदरी सतह, ढलान इत्यादि को ध्यान में रखा गया था। इस अध्ययन के लिये हिमालय की नदियों में 12 स्थल प्रयोगों के आंकड़ों को एकत्र किया गया। प्रत्येक नदी पर तीन या चार परीक्षण स्थल चुन कर के नदी के दोनों किनारे से जल के नमूने एकत्र किये गये। इन सभी जल के नमूनों का प्रयोगशाला में रेडियोधर्मी विश्लेषण किया गया।

इनमें से एक प्रयोग में संसर्ग पूर्ण एवं संतृप्त नही प्राप्त हो सका। अतः इस प्रयोग के आंकड़ों को प्रतिरूप के सृजन करने के लिए प्रयोग नही किया गया है। प्रयोगों से सम्बन्धित जलविज्ञानीय आंकड़े, जैसे कि संसर्ग दूरी, जल का वेग, ढलान, जल प्रवाह, ऊपरी जल सतह की चौड़ाई इत्यादि एकत्र किये गये और आंकड़ों को गणितीय समूह में रखा गया।



चित्र 1

नदियों के जल प्रवाह के तुलनात्मक अध्ययन के लिए प्रचलित तकनीक द्वारा भी जल प्रवाह को आंकलित किया गया है। सभी प्रयोगों में ट्रीशियम रेडियोधर्मी रेखांकक का प्रयोग किया गया है एवं सभी परीक्षण परमाणु ऊर्जा नियामक परिषद्, मुम्बई द्वारा निर्धारित सुरक्षा नियमों का विधिवत पालन करते हुए विकिरण सुरक्षा अधिकारी की उपस्थिति में किये गये। प्रयोगों द्वारा जनित सभी विकिरण सामग्री को पालिथीन

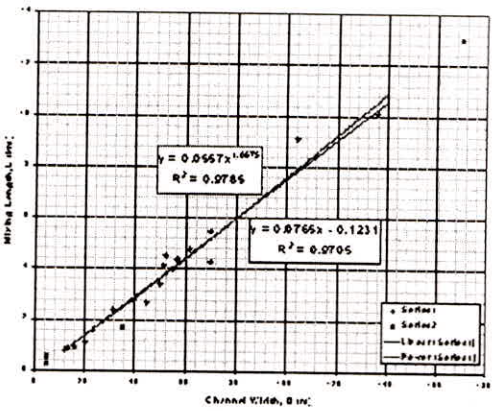
थैलियों में भरकर सुरक्षा नियमानुसार विकिरण सुरक्षा अधिकारी द्वारा निस्तारण किया गया।

3. गणितीय प्रतिरूपों का सृजन :

सर्वप्रथम सृजित आंकड़ों के समूह का प्रारम्भिक विश्लेषण किया गया। संसर्ग दूरी तथा विभिन्न जलविज्ञानीय नियामकों के रेखाचित्र बनाये गये। इनके विश्लेषण से स्पष्ट होता है कि संसर्ग दूरी तथा नदी के जल की ऊपरी सतह की चौड़ाई (बी) एवं जल की गहराई (डी) में समानुपाती सम्बन्ध है। जल प्रवाह (क्यू) और रिनौल्ड नम्बर में वक्रीय समानुपाती सम्बन्ध है। जल के ढलान और संसर्ग दूरी में कोई विशिष्ट सम्बन्ध दृष्टिगोचर नहीं होता है। अतः जल के ढलान को प्रतिरूप के सृजन करने हेतु प्रयोग में नहीं लाया गया है। संसर्ग दूरी एवं चुने हुए जल विज्ञानीय नियामकों के एकल एवं समन्वित सम्बन्धों को आगे वर्णित किया गया है।

4. जल सतह की चौड़ाई (बी) :

रेखांकक का मिश्रण नदी के जल में जल प्रवाह की गति के अनुरूप तीनों विमाओं–लम्बाई, चौड़ाई तथा गहराई में होता है। गहराई की विमा में मिश्रण सामान्यतः शीघ्र होता है। लम्बाई में रेखांकक का मिश्रण नदी में प्रवाह के साथ होता रहता है। चौड़ाई में मिश्रण एक निश्चित दूरी तय करने के उपरान्त पूर्ण हो जाता है। चौड़ाई में रेखांकक का मिश्रण संसर्ग दूरी के आंकलन हेतु अति महत्वपूर्ण होता है। ऐसा पाया गया है कि अधिक चौड़ी नदियों में संसर्ग दूरी अधिक होती है एवं कम चौड़ी नदियों में कम होती है। अंकगणितीय रेखाचित्र (चित्र 2) संसर्ग दूरी एवं जल सतह की चौड़ाई के मध्य समानुपाती सम्बन्ध दर्शाता है। इस सम्बन्ध को कम से कम वर्ग त्रुटि के सिद्धान्त से निम्न प्रतिरूप द्वारा दर्शाया जा सकता है।



चित्र 2

$$\text{एल} = 0.0766 \text{ बी} - 0.1 \qquad (1)$$

जहां एल संसर्ग दूरी तथा बी जल सतह की चौड़ाई को दर्शाते हैं। इस प्रतिरूप के लिए सह सम्बन्ध गुणांक 0.9785 एवं मानव त्रुटि 11.62 है। गणितीय दृष्टिकोण से यह एक अच्छा एवं कुशल प्रतिरूप है। परन्तु इसकी अपनी कुछ सीमायें भी हैं। जैसे यदि नदी में जल सतह की चौड़ाई शून्य हो तो संसर्ग दूरी का मान स्थिर होगा जो कि सच्चाई से दूर होने के कारण स्वीकारीय नहीं है। इसी प्रकार यदि नदी में शून्य जल प्रवाह होगा तो नदी में जल सतह की चौड़ाई भी शून्य होगी या यह एक मृत तालाब होगा। उपरोक्त व्याख्या को ध्यान में रखते हुए संसर्ग दूरी तथा जल सतह की चौड़ाई के नियामकों को एक लघु–लघु वक्र पर अंकित कर कम से कम वर्ग त्रुटि के सिद्धान्त से निम्न प्रतिरूप

का सृजन किया गया। गणितीय प्रतिरूप के लिए सहसम्बन्ध गुणांक 0.9785 तथा मानक त्रुटि 12.33 प्रतिशत है।

$$\text{एल} = 0.0557\ (\text{बी})^{1.0675} \qquad (2)$$

5. जल की गहराई (डी) :

रेखांकक का गहराई एवं चौड़ाई की विमा में मिश्रण कम दूरी में संतृप्त मिश्रण प्राप्त करने में सहायक होता है। संसर्ग दूरी एवं जल की गहराई के जोड़ों को अंकगणितीय रेखाचित्र बनाने पर यह पाया गया कि इन दोनों नियामकों के सम्बन्ध को कम से कम वर्ग त्रुटि के सिद्धान्त से निम्न प्रतिरूप द्वारा दर्शाया जा सकता है।

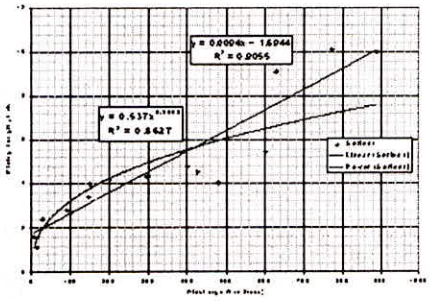
$$\text{एल} = 0.716\ \text{डी} + 1.449 \qquad (3)$$

इस प्रतिरूप के लिए सहसम्बन्ध गुणांक एवं मानक त्रुटि क्रमशः 0.932 और 23.63 है। इस प्रतिरूप की अपनी कुछ सीमायें हैं अतः दोनों नियामकों में निम्न घातीय प्रतिरूप सृजित किया गया। इस प्रतिरूप के लिए सहसम्बन्ध गुणांक तथा मानक त्रुटि क्रमशः 0.929 एवं 28.16 है।

$$\text{एल} = 2.32(\text{डी})^{0.52} \qquad (4)$$

6. जल प्रवाह (क्यू) :

आंकड़ों के प्रारम्भिक विश्लेषण से पाया गया है कि नदी के जल प्रवाह में परिवर्तन होने पर संसर्ग दूरी मे भी परिवर्तन होता है। संसर्ग दूरी तथा जल प्रवाह में रेखाचित्र वक्रीय स्वरूप दर्शाता है (चित्र 3)। अतः दोनों नियामकों के जोड़ों को लघु–लघु रेखा चित्र पर अंकित करके, कम से कम वर्ग त्रुटि के सिद्धान्त से निम्न घातीय प्रतिरूप का सृजन किया गया।



चित्र 3

$$\text{एल} = 0.537\ \text{क्यू}^{0.3903} \qquad (5)$$

इस प्रतिरूप के लिए सहसम्बन्ध गुणांक एवं मानक त्रुटि क्रमशः 0.8627 और 26.18 है। रेखाचित्र स्पष्ट रूप से दर्शाता है कि यदि जल प्रवाह 320 मी^{3}/सेकेण्ड से अधिक है तो उपरोक्त प्रतिरूप इच्छित संतुष्टि नहीं करता है। अतः एकत्रित आंकड़ों को दो भागों में बांटकर रेखाचित्र बनाया गया। ऐसी स्थिति में निम्न दो प्रतिरूप सृजित किये गये ।

$$\text{एल} = 0.68(\text{क्यू})^{0.33} \qquad (\text{क्यू} < 320\ \text{मी}0^3/\text{सेकेण्ड के लिये}) \qquad (6)$$

$$\text{एल} = 0.01(\text{क्यू})^{1.03} \qquad (\text{क्यू} \geq 320\ \text{मी}0^3/\text{सेकेण्ड के लिये}) \qquad (7)$$

प्रतिरूप (6) के लिए सहसम्बन्ध गुणांक एवं मानक त्रुटि क्रमशः 0.892 एवं 14.25 है। जबकि प्रतिरूप (7) के लिए सहसम्बन्ध गुणांक एवं मानक त्रुटि क्रमशः 0.948 एवं 10.50 है।

7. विक्षोभ (रिनाल्ड नम्बर) गुणांक ($आर_ई$) :

नदी के विक्षोभ को रिनाल्ड नम्बर से दर्शाया जाता है। नदी में अधिक विक्षोभ जल्द संसर्ग दूरी प्राप्त करने में सहायक होता है। कम से कम त्रुटि के सिद्धान्त से निम्न प्रतिरूप का सृजन किया गया। प्रतिरूप के लिए सहसम्बन्ध गुणांक 0.969 एवं मानक त्रुटि 18.60 है।

$$एल = 0.0089 \ (आर_ई)^{0.4} \qquad (8)$$

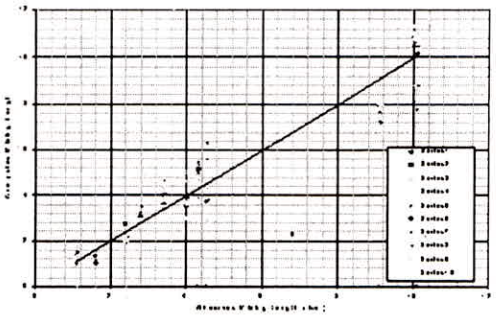
8. जल सतह का ढलान (एस) :

जैसा कि पूर्व में वर्णित किया गया है कि जल के ढलान एवं संसर्ग दूरी में कोई निश्चित सम्बन्ध प्रतीत नहीं होता है यद्यपि संसर्ग दूरी तथा ढलान में विलोमात्मक सम्बन्ध प्राप्त होता है।

9. संसर्ग दूरी पर नियामकों का समन्वित प्रभाव :

उपरोक्त व्याख्या से स्पष्ट है कि एकल रूप में जल सतह की चौड़ाई, गहराई, जल प्रवाह एवं विक्षोभ एवं संसर्ग दूरी में समानुपातीय सम्बन्ध है। किसी भी नदी में जल प्रवाह जल सतह की चौड़ाई एवं जल की गहराई के अनुसार परिवर्तित होता है। अतः प्राप्त आंकड़ों से विभिन्न प्रकार के बहुआयामी प्रतिरूपों को तालिका–3 में दर्शाया गया है।

10. निष्कर्ष :



दुर्गम नदी घाटियों में किये गये स्थलीय प्रयोगों एवं संसर्ग दूरी आंकलन के प्रचलित प्रतिरूपों एवं सांख्यिकीय सूत्रों का प्रयोग हिमालय की नदियों के लिए नहीं किया जा सकता है। नदियों के जल विज्ञानीय आंकड़े आधुनिक तकनीक जैसे, दूर संवेदन तकनीक का प्रयोग करके सरलता से प्राप्त किये जा सकते हैं। जल विज्ञानीय आंकड़ों के विश्लेषण इंगित करते हैं कि हिमालय की नदियों के लिए नदी के जल सतह की चौड़ाई एवं गहराई में समानुपातीय सम्बन्ध है। हिमालय की नदियों की संसर्ग दूरी का आंकलन सृजित प्रतिरूपों द्वारा किया जा सकता है। इस गणितीय प्रतिरूप को दुर्गम नदियों में संसर्ग दूरी के आंकलन हेतु सहजता से उपयोग में लाया जा सकता है। इन दुर्गम क्षेत्रों में उपरोक्त प्रतिरूप में दर्शाये गये नियामकों का सहज ही अनुमान लगाया जा सकता है। स्थल अध्ययन एवं सृजित प्रतिरूप दर्शाते हैं कि जल प्रवाह मापन की रेडियोधर्मी तकनीक में कम समय, कम खर्च तथा कम मानव शक्ति लगेगी। नदियों में बाढ़ की स्थिति

तालिका 3 : संसर्ग दूरी आंकलन हेतू समर्ग प्रतिरूप

क्रम सं0	प्रस्तावित प्रतिरूप	सहसम्बन्ध गुणांक %	मनक त्रुटि %	आंकलित एफ–सांख्यिकी	एफ–निर्णायक **95%** स्तर तक	प्रतिरूप संख्या
1	$\text{एल} = 0.027 \frac{(\text{बी})^{1.27}}{(\text{डी})^{0.1}}$	98.7	13.04	153.14	4.965	(9)
2	$\text{एल} = 0.027 \frac{(\text{बी})^{1.16}(\text{क्यू})^{0.1}}{(\text{डी})^{0.166}}$	99.0	10.64	113.29	4.103	(10)
3	$\text{एल} = 0.011 \frac{(\text{बी})^{1.08}(\text{आर}_{\frac{1}{2}})^{0.116}}{(\text{डी})^{0.16}}$	98.8	13.46	97.38	4.103	(11)
4	$\text{एल} = 0.014 \frac{(\text{बी})^{1.05}(\text{क्यू})^{0.059}(\text{आर}_{\frac{1}{2}})^{0.086}}{(\text{डी})^{0.174}}$	99.0	11.54	76.55	3.708	(12)
5	$\text{एल} = 0.019 \frac{(\text{बी})^{1.05}(\text{क्यू})^{0.07}(\text{आर}_{\frac{1}{2}})^{0.066}(\text{एस})^{0.019}}{(\text{डी})^{0.161}}$	99.0	11.21	51.38	3.478	(13)

में जल प्रवाह के अनुमान हेतु जब अन्य विधियाँ प्रयोग में लाना बहुत कठिन कार्य होता है। तब भी निम्न विकसित गणितीय प्रतिरूप के उपयोग करने से जल प्रवाह का अनुमान बहुत सहजता से लगाया जा सकता है।

$$\text{एल} = 0.68\ (\text{क्यू})^{0.133} \quad \text{जहॉ क्यू} < 320\ \text{मी}0^3/\text{सेकेण्ड}$$
$$\text{एल} = 0.01\ (\text{क्यू})^{1.03} \quad \text{जहॉ क्यू} \geq 320\ \text{मी}0^3/\text{सेकेण्ड}$$

11. सन्दर्भ :

(1) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "डाइलूशन विधि से हिमालय क्षेत्र में गंगा नदी का जल प्रवाह मापन", यू0 पी0 आई0 आर0 आई0, रुड़की टी0 एम0 नं0 48 – आर आर (जी–17)

(2) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "परमाणु तकनीक द्वारा हिमालय क्षेत्र में संसर्ग दूरी का क्षेत्रीय मापन", सी0 बी0 आई0 एण्ड पी0, नई दिल्ली, 1978 के वार्षिक शोध सत्र में प्रकाशित

(3) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "परमाणु तकनीक द्वारा हिमालीय नदी में पार्श्विक छितराव, बनारस हिन्दु विश्वविद्यालय, बनारस में वार्षिक शोध सत्र में प्रकाशित

(4) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "रेडियोमेटरिक तकनीक द्वारा हिमालीय नदी में जल प्रवाह एवं संसर्ग दूरी का आंकलन", यू0 पी0 आई0 आर0 आई0, रुड़की टी0 एम0 नं0 49 – आर0 आर0 (जी–11)

(5) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "परमाणु तकनीक द्वारा हिमालीय नदियों में संसर्ग दूरी", सी0 बी0 आई0 एण्ड पी0, नई दिल्ली, के 48वें वार्षिक शोध सत्र में प्रकाशित

(6) सिंघल, एम0 के0, छाबड़ा एस0 एस0, "रेडियोएक्टिव ट्रेसर तकनीक से गंगा एवं सौंग नदियों का जल प्रवाह मापन।" अन्तर्राष्ट्रीय जल संसाधन के तीसरे कांग्रेस में प्रकाशित, 1979

(7) कलेटन, सी0 जी0 और स्मिथ डी0 बी0, "रेडियोआइसोटोप तकनीक से नदी के जल प्रवाह का तुलनात्मक अध्ययन।" आइसोटोप आफ हाइड्रोलोजी, वियना, 1963

(8) टिम्बलियन, एल0 ओ0 और पिटरियका, ए0 जे0, "नहरों में जल प्रवाह मापन के लिए रेडियोआइसोटोप का उपयोग।" आइसोटोप हाइड्रोलोजी, वियना, 1963

(9) डिनसर, टी0, "नदियों में जल प्रवाह मापन हेतु रेडियोट्रेसर तकनीक का उपयोग।" आइसोटोप इन हाइड्रोलोजी, वियना, 1967

(10) हुल, डी0 ई0, "टोटल काउन्ट विधि द्वारा जल प्रवाह का मापन" द्वितीय अन्तर्राष्ट्रीय संगोष्ठी, परमाणु शक्ति का शान्तिमय उपयोग, जनेवा, 1958

(11) सी0 बी0 आई0 एण्ड पी0, नई दिल्ली, के वार्षिक शोध अनुस्मारक, 1979, 1980 व 1981